



# Traktionsbedingte Radsatzlaständerung an Lokomotiven



Name: Daniel Däumlich  
Studienrichtung: Maschinenbau/ Schienenfahrzeugtechnik

## Einleitung

Leistungsfähige Streckenlokomotiven sind auch heute ein essentieller Bestandteil des täglichen Bahnbetriebes. Vor allem im Güterzugdienst, wo hohe Zugkräfte gefragt sind, ist es von großer Bedeutung, dass die Lokomotiven leistungsfähig sind. Ebenso spielen Kosten eine wichtige Rolle. Bedenkt man nun die Lebenszykluskosten (LCC) einer Lokomotive wahlweise mit vier oder sechs Radsätzen, wird schnell klar, dass die Lokomotive mit vier Radsätzen wahrscheinlich kostennäher überlegen ist. Die Mehrkosten bei Lokomotiven mit sechs Radsätzen resultieren hauptsächlich aus den LCC der beiden zusätzlichen Radsätze und der dazu gehörenden Antriebstechnik und deren Peripherie. Das bedeutet finanziellen Mehraufwand bei der Anschaffung und der Instandhaltung. So wird die Streckenlokomotive mit vier Radsätzen auch von vielen Eisenbahnverkehrsunternehmen den Lokomotiven mit sechs Radsätzen vorgezogen. Daher ist es besonders wichtig die Kraftschlussausnutzung und somit die Leistungsfähigkeit dieser Lokomotiven zu maximieren.



Bild 1: Bahnalltag in Deutschland; links: Nahverkehrstriebwagen Talent 2, mitte: moderne Drehstrom-Elok BR 145 als Arbeitstier im Güterzugdienst

Durch bestimmte Mechanismen kommt es nämlich unter Zugkraftabgabe zur Radsatzlaständerung. Vorlaufende Radsätze im Drehgestell werden ent- und nachlaufende Radsätze belastet. Die Radsatzlaständerung kann bei Fahrzeugen mit Radsatz-einzel- oder Gruppenantrieb zu Zugkraftenbußen durch schlechte Kraftschlussausnutzung führen. Bei Fahrzeugen mit Radsatz-einzelantrieb ist die Auswirkung der Radsatzlaständerung am stärksten ausgeprägt. Das sind zumeist elektrische Fahrzeuge mit Fahrmotoren am Radsatz. Bei Lokomotiven mit Gruppenantrieb ist die Auswirkung geringer. Für Fahrzeuge mit Zentralantrieb spielt die Auswirkung der Radsatzlaständerung eine untergeordnete Rolle. Das Antriebsmoment wird selektiv auf die miteinander mechanisch gekuppelten Radsätze verteilt. Aufgrund der kinematischen Kopplung der Radsätze tritt etwaiges Schleudern immer an allen gekuppelten Radsätzen gleichzeitig auf. Dadurch bricht bei Schleudern die Zugkraft bei Lokomotiven mit Gruppen- o. Zentralantrieb stärker ein, als bei Fahrzeugen mit Radsatz-einzelantrieb. Lokomotiven mit Stangenantrieb, bei denen alle Radsätze miteinander durch Kuppelstangen verbunden sind, sind aufgrund von Ungleichförmigkeiten im Abtriebsmoment schleudreranfälliger als Fahrzeuge mit Radsatzgetrieben oder Fahrmotoren am Radsatz.

Unter ungünstigen Bedingungen beträgt die Radsatzentlastung bis nahezu 20% der statischen Radsatzlast im Stand. Bei 20 t Radsatzfahrmasse sind das immerhin 4 t Radsatzentlastung.

## Aufgabenstellung

Aufgabe ist es, im Rahmen einer Literaturrecherche Informationen über die physikalischen Mechanismen der Radsatzlaständerung und deren Verhinderung zu sammeln. Zudem sollen die Möglichkeiten der Drehgestellanlenkung unter Einbeziehung praktisch umgesetzter Ausführungen an Fahrzeugen herausgearbeitet werden.

## Ermittlung der Radsatzlaständerung

Am Beispiel einer Lokomotive mit vier Radsätzen sollen die Mechanismen der Radsatzlaständerung verständlich gemacht werden. Es handelt sich im Wesentlichen um drei Vorgänge, welche die Radsatzlaständerung hervorrufen.

1. Ein Moment am Lokomotivkasten, resultierend aus den unterschiedlichen Ebenen, in denen die Zugkraft ein- und ausgeleitet wird,
  2. ein Moment am Triebdrehgestell, resultierend aus den unterschiedlichen Ebenen, in denen die Zugkraft am Drehgestell ein- und ausgeleitet wird und
  3. die Reaktionskräfte der Drehmomentstützen der Radsatzantriebe.
- In Bild 2 sind die mechanischen Ersatzmodelle des Lokomotivkastens und eines Triebdrehgestells bei quasistatischer Betrachtung dargestellt. Dabei werden in vertikaler Richtung nur die Änderungen der Radsatzlasten und Kastenstützkräfte eingezeichnet und zur Berechnung verwendet. In die Berechnung der Radsatzlaständerung gehen die geometrischen Parameter der Lokomotive, das sind Radsatzstand im Drehgestell, Drehgestellmittenabstand, Zughakenhöhe und die Höhe der Drehgestellanlenkung sowie die Zughakenzugkraft ein. Als Stellschraube zur Minimierung der Radsatzlaständerung dient vor allem die Höhe der Drehgestellanlenkung.

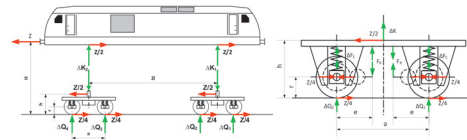


Bild 2: Ersatzmodell von Lokomotive und Drehgestell zur Ermittlung der Radsatzlaständerung

Bild 3 zeigt den Verlauf der Radsatzlaständerung bezogen auf die statische Radsatzlast einer fiktiven Lokomotive in Abhängigkeit von der Höhe der Drehgestellanlenkung. Ersichtlich ist daraus, dass eine tiefstmögliche Anlenkung erfolgen muss, damit die Größe der Radsatzlaständerung minimiert wird.

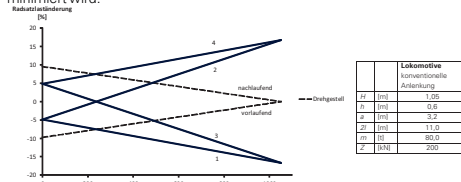


Bild 3: Relative Radsatzlaständerung in Abhängigkeit der Höhe der Drehgestellanlenkung

Zwei geometrisch gleich aufgebaute Bo'Bo' Lokomotiven, wobei eine mit konventionellen Drehzapfen angelenkt wird (h=600 mm über SO) und die andere eine Tiefanlenkung besitzt (h=75 mm über SO), werden miteinander verglichen. Bild 4 zeigt den Verlauf der Radsatzlast über der Zughakenzugkraft. Am konventionellen Fahrzeug tritt eine maximale Radsatzentlastung von 17% der Radsatzfahrmasse im Stand ein. Beim tiefangelenkten Fahrzeug sind es nur 7% Entlastung.

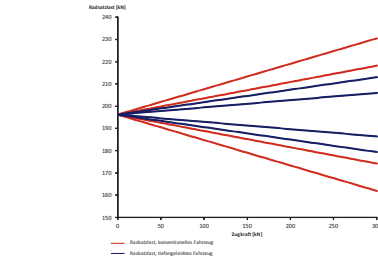


Bild 4: Vergleich der Radsatzlaständerung in Abhängigkeit der Zugkraft zweier Lokomotiven

## Bedeutung der Radsatzlaständerung

Zur Verdeutlichung der Problematik von Radsatzlaständerungen folgt ein einfaches Beispiel. Bild 5 zeigt dazu ein ideales Zugkraftdiagramm einer fiktiven E-Lokomotive mit Radsatz-einzelantrieb. Alle Fahrmotoren werden über ein zentrales Schaltwerk gleichermaßen mit Spannung versorgt. Somit liefert jeder Fahrmotor annähernd das gleiche Antriebsmoment. Unter Zugkraft wirken nun die Mechanismen der Radsatzlaständerung. Der in Fahrtrichtung vorlaufende Radsatz wird am meisten entlastet. Damit er nicht ins Schleudern gerät, muss aufgrund der Konfiguration des zentralgesteuerten Radsatz-einzelantriebs, die gesamte Zugkraft herabgesetzt werden. Es kann quasi nur eine niedrigere Fahrstufe eingelegt werden. In Bild 5 sind zusätzlich der Verlauf der deshalb korrigierten Zugkraft und exemplarisch der Fahrwiderstand eines schweren Güterzuges eingezeichnet. Unter dem Einfluss der Radsatzlaständerung kann der Güterzug nicht angefahren werden, obwohl die Maschine ausreichend leistungsfähig wäre. Das Verhältnis aus ausgenutztem und vorhandenen Kraftschlussbeiwert beträgt im Beispiel nur 0,85.

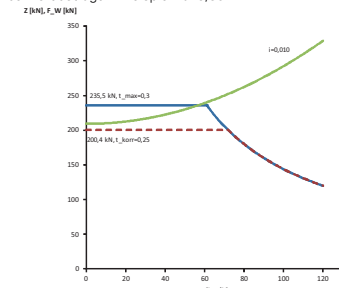


Bild 5: Ideale und korrigierte Zugkraftcharakteristik einer elektrischen Lokomotive

Für die Praxis bedeutet dies, dass die Radsatzlaständerung zu erheblich verminderter Leistungsfähigkeit der Lokomotive, vor allem während des Anfahrens und Beschleunigungsvorganges unterhalb der fahrdynamischen Übergangsgeschwindigkeit, führen würde. In Anbetracht von Effizienz und Wirtschaftlichkeit ist so etwas dringend zu vermeiden und eine maximale Kraftschlussausnutzung zwischen Rad und Schiene zu erstreben.

## Verbesserung der Kraftschlussausnutzung

Damit die modernen Drehgestelllokomotiven den Kraftschluss zwischen Rad und Schiene maximal ausnutzen, bestehen verschiedene Möglichkeiten um die Radsatzlaständerung zu minimieren bzw. die resultierende Zugkraftenbuße zu vermeiden. Die gängigsten Möglichkeiten sind nachfolgend aufgeführt.

### 1. Tiefanlenkung der Drehgestelle

Die Tiefanlenkung der Drehgestelle erfolgt mittels tiefliegendem Drehzapfen, Zugstangen oder Zug-/ Druckstangen. Durch eine Tiefanlenkung wird die Radsatzlaständerung von vornherein minimiert.

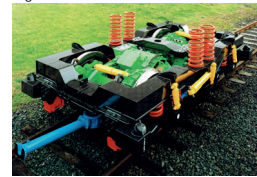


Bild 6: Drehgestell der 120 004 mit Tiefanlenkung durch eine Zug-/ Druckstange (blau) Quelle: Baur, Karl Gerhardt: Baureihe 101, GeraMond Verlag, München 1999.

### 2. Kompensationsmaßnahmen

Lastausgleichvorrichtungen (mechanisch, pneumatisch o. elektrisch) oder Drehgestellausgleichkupplungen sorgen durch zusätzliche Vertikalkräfte am Drehgestell für eine Verminderung der Radsatzlaständerung. Dabei lässt sich der vorhandene Kraftschluss je nach Fahrzeug bis etwa 97% ausnutzen.

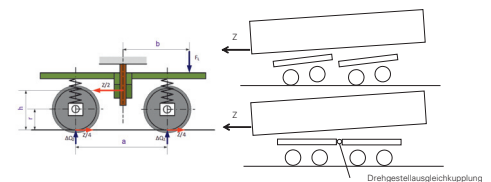


Bild 7: Schema einer Lastausgleichvorrichtung (links) und der Drehgestellausgleichkupplung, hier überspitzt dargestellt (rechts)

### 3. Mechanische Kupplung aller Treibradsätze

Sind alle Radsätze einer Lokomotive miteinander mechanisch starr gekuppelt, bspw. durch Kuppelstangen oder Gelenkwellen, dann ermöglicht dieses mechanische System eine selektive Verteilung des Antriebsmomentes auf die Radsätze. Dabei können mehrbelastete Radsätze einen höheren Anteil an der Traktionskraft leisten, dementsprechend wird ein größeres Antriebsmoment abgegriffen, als die entlasteten Radsätze. Da die Summe aller traktionskraftbedingten Radsatzlaständerungen stets Null ist, wird der Kraftschluss in Summe theoretisch vollständig ausgenutzt. Praktisch funktioniert das allerdings nicht immer, es handelt sich hierbei auch um eine vereinfachte Betrachtung, welche andere Effekte nicht berücksichtigt. Deshalb findet die Tiefanlenkung trotzdem auch an diesel-hydraulischen Lokomotiven mit Zentralantrieb Anwendung. Ein Beispiel hierfür ist die BR 218 mit tiefangelenkten Drehgestellen durch tiefliegende Drehzapfen (Drehtürme).



Bild 8: Eine remotorisierte BR 218 als Beispiel für Fahrzeuge mit Zentralantrieb

### 4. Elektronische, selektive Regelungssysteme für Treibradschlupf

Die elektronische Regelung der Fahrmotoren einer Lokomotive mit Radsatz-einzelantrieb soll bestenfalls radsatzselektiv, jedoch zumindest drehgestellselektiv erfolgen. Die Traktionskraft jedes Radsatzes oder Drehgestells wird der jeweils verfügbaren Kraftschlusskraft durch eine Schlupfregelung angepasst. Die Effekte der Radsatzlaständerung können dadurch weitestgehend eingeschränkt werden. Diese Systeme sind technisch aufwändig.

## Fazit

Die Radsatzlaständerung kann die Leistungsfähigkeit von Lokomotiven durch schlechte Kraftschlussausnutzung stark einschränken. Die Größe der Radsatzlaständerung ist von der Momentanzugkraft und der Lokomotivegeometrie abhängig. Der größte Anteil der Radsatzlaständerung entsteht bei üblichen Lokomotivkonfigurationen durch das Triebdrehgestellmoment. Mit einer Tiefanlenkung der Drehgestelle wird die Ursache dieses Effekts, durch gezielten konstruktiven Eingriff in die Lokomotivegeometrie, minimiert. Zusätzliche Kompensationsmaßnahmen reduzieren ebenso die Radsatzlaständerung. Elektronische Schlupfregelungen von elektrischen Fahrmotoren minimieren die Auswirkung der Radsatzlaständerung. Beide Maßnahmen bedeuten aber zusätzlichen technischen und finanziellen Aufwand. Die Ausnutzung des Kraftschlusses zwischen Rad und Schiene ist von der Antriebskonfiguration der Lokomotive abhängig.